第18卷 第2期 2018年1月
1671—1815(2018)002-0264-06
科 学 技 术 与 工 程
Science Technology and Engineering
Vol. 18 No. 2 Jan. 2018
© 2018 Sci. Tech. Engrg.

引用格式:王忠东,张小文,赵承强,等. 变电站光纤通信中的最优节点选取模型设计[J]. 科学技术与工程,2018,18(2):264—269
Wang Zhongdong, Zhang Xiaowen, Zhao Chengqiang, et al. Design of optimal node selection model for substation fiber communication[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(2): 264—269

电子技术、通信技术

变电站光纤通信中的最优节点选取模型设计

王忠东[1] 张小文[2] 赵承强[1] 王生贵[1] 胡芳林[3] 尚建国[1]
(国网甘肃省电力公司[1],兰州 730000;中国能源建设集团甘肃省电力设计院有限公司[2],兰州 730050;甘肃民族师范学院[3],合作 747000)

摘 要 传统变电站光纤通信中最优节点选取模型大多依据先验知识实现,性能较低,不适于实际应用。因此,针对变电站光纤通信设计了一种新的最优节点选取模型,给出变电站光纤通信系统结构,介绍了通信时的信号接收过程和信号传输过程。将所有光电信号的接入端和汇聚中心的通信链路规划为通信栅格网,依据节点功能,从四个方面对变电站光纤通信中的节点进行评价;分别是通信节点处理能力、相邻节点间的通信延迟、相邻通信节点之间的信道质量和误码率。对四种评价指标的权重进行计算,依据权重设计变电站光纤通信中最优节点选取模型。对设计模型的安全性和自身性能进行测试,结果表明,所设计模型安全性优,整体性能强。

关键词 变电站 光纤通信 最优节点 选取
中图法分类号 TN915.06; **文献标志码** A

21世纪初,光纤通信技术开始被应用,传统电力电缆通信方式逐渐被光纤通信技术取代,变电站光纤通信在电力系统中的应用越来越普遍[1,2]。作为重要的能源框架,人们对变电站光纤通信的传输速度、安全性和可靠性提出了很高的要求。而选择可靠的最优通信节点能够保证变电站光纤通信的稳定运行[3],因此,设计了一种有效的最优节点选取模型。

传统方法中,针对变电站光纤通信中最优节点选择模型主要包括遗传模型、环形路由模型以及最短路径模型等[4,5]。以上模型首先利用光纤通信节点连通图中子节点的能耗对节点进行自适应处理,然后对通信节点进行均匀覆盖,通过SLAM进行寻优,找到最优通信节点,从而增强变电站光纤通信的安全性。然而采用上述模型对最优节点进行选取时,容易受到节点自身多跳性与复杂性的干扰,在信噪比特别低、环境特别复杂的情况下,无法保证通信性能,不适于实际应用[6,7]。

1 变电站光纤通信系统

变电站光纤通信系统通信过程中,首先把传输端电信号转换为光信号,将光纤看作传输介质对信号进行传递,在接收端将光信号转换为电信号,以达到信号传输的目的[8]。据此,给出变电站光纤通信系统,其主要由串口通信控制芯片PEB20532、CPLD 芯片 XC95288、光收发器RTXM154TL和外围电路构成,系统结构如图1所示。

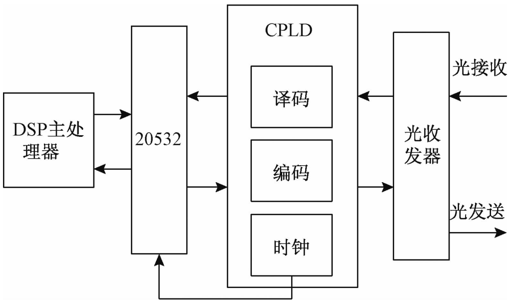

图1 变电站光纤通信系统结构图
Fig. 1 Structure of optical fiber communication system in substation

信号接收过程如下:光收发器的接收端利用光纤将接收到的光信号转化为电信号,当前电信号已经被编码,利用CPLD对其进行解码后,传输至20532的接收端,通过20532内部接收FIFO,完成串并转换后,通过DSP直接进行处理。

信号传输过程如下:DSP利用和20532连接在一起的数据总线,将待传输信号写入发送FIFO,

2017年6月20日收到 甘肃省科技计划项目(1104gkcp013)资助
第一作者简介:王忠东(1967—),男,汉族,甘肃兰州人,副教授。研究方向:机械与电子。E-mail:wangzhongdong8@163.com。

20532 依据既定 HDLC 协议[9],将并行数据转换为串行数据,同时传输给 CPLD,CPLD 将串行数据编码传输给光收发器,将电信号转换为光信号,通过光纤完成对其的传输。

2　最优节点选取模型设计

将所有光电信号的接入端和汇聚中心的通信链路规划为通信栅格网,用图 2 进行描述。

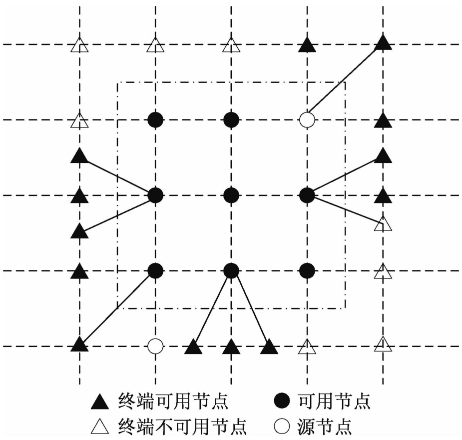

图 2　通信栅格网模型

Fig. 2　Communication grid model

图 2 中,端节点代表信号接入点;交叉节点可能代表信号交换节点,也可能代表集合大量信息存储、处理等的综合节点[10]。可通过二维坐标对所有节点进行描述,举例说明,源节点 A 可描述成 $A(1,0)$,目的节点 B 可描述成 $B(3,3)$。

假设 A 点需和 B 点通信,A 节点与 B 节点间的可用节点数用 N 进行描述,则变电站光纤通信中最优节点选取模型就是要从 N 个可用节点中选择出一个综合性能最优的节点。

2.1　性能描述

变电站光纤通信中通信节点主要有以下两方面的功能:其中一个功能是对进入节点的信号进行统计和保存、通信链路计算以及转发[11];另一个功能是对通信工作进行维护,学习相邻节点信息,对相邻链路及节点状态进行更新。

依据节点功能,从以下四个方面对变电站光纤通信中的节点进行评价:

2.1.1　通信节点处理能力

变电站光纤通信节点处理能力主要体现在信号接收、处理和转发方面[12]。假设节点 n_k 中存在 m 个任务 $\{A_i \mid i = 1,2,\cdots,m\}$,则节点处理能力 $c(A,n_k)$ 可通过式(1)求出。

$$c(A,n_k) = \frac{p}{p + \sum_{i=1}^{m} p_i} c_{\max} \tag{1}$$

式(1)中,p_i 用于描述任务 T_i 的计算优先权级别;p 用于描述新任务 T 的计算优先权级别;$c_{\max}$ 用于描述节点 n_k 的最高处理能力。

2.1.2　相邻节点间的通信延迟

变电站光纤通信中相邻节点间的通信延迟主要取决于通信形式和链路长度,文章通信形式为光纤通信[13]。假设通信节点 n_k 的下一通信节点为 n_i,则通信节点 n_k 的通信延迟可通过下式求出:

$$t(n_k,n_i) = T(L_{(k,i)},D_{(k,i)}) \tag{2}$$

式(2)中,$L_{(k,i)}$ 用于描述通信节点 n_k 与下一通信节点 n_i 间的通信形式;$D_{(k,i)}$ 用于描述通信节点 n_k 与下一通信节点 n_i 之间的距离。

2.1.3　相邻通信节点之间的信道质量

变电站光纤通信中相邻通信节点之间信道质量主要取决于数据拥塞程度、外界环境、电磁辐射等[14,15]。假设通信节点 n_k 的下一通信节点为 n_i,则通信节点 n_k 的信道质量可通过下式求出:

$$q(n_k,n_i) = Q(G_{(k,i)},E_{(k,i)},R_{(k,i)}) \tag{3}$$

式(3)中,$G_{(k,i)}$、$E_{(k,i)}$、$R_{(k,i)}$ 分别用于描述通信节点 n_k 到下一通信节点 n_i 的链路上数据拥塞程度、外界环境产生的影响、电磁辐射产生的干扰[16]。

2.1.4　误码率

依据通信原理可知,通信节点 n_k 到下一通信节点 n_i 的误码率可描述为

$$P_{\mathrm{e}}(n_k,n_i) = Q[\sqrt{\eta_{\mathrm{b}}(1-\rho_{\mathrm{s}})}] \tag{4}$$

式(4)中,发射信号间的相关系数 $\rho_{\mathrm{s}} = -1$,$Q(x)$ 可通过式(5)求出。

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^{+\infty} \mathrm{e}^{-\frac{t^2}{2}\mathrm{d}t} \tag{5}$$

η_{b} 用于描述通信节点 n_k 与下一通信节点 n_i 之间的平均信噪比,用公式可描述为

$$\eta_{\mathrm{b}} = \frac{P_{n_k}}{N_0}\sum_{i=1}^{L} |l_k|^2 \tag{6}$$

式(6)中,P_{n_k} 用于描述发射节点 X 的发射功率;N_0 用于描述噪声平均功率;$|l_k|$ 用于描述通信节点 n_k 到下一通信节点 n_i 的第 k 条路径的增益[17]。

2.2　最优节点选取模型

假设用 $\omega_{k,k}$ 描述通信节点 n_k 处理能力权重,用 $\omega_{t_{k,i}}$ 描述通信节点 n_k 与 n_j 之间通信延迟时间权重,用 $\omega_{q_{k,i}}$ 描述通信节点 n_k 与 n_j 之间通信信道质量权重,用 $\omega_{p_{k,i}}$ 描述通信节点误码率[18],则通信节点 n_k 的综合性能为

$$F_k = \begin{cases} 0, & x_k = 0 \\ \omega_{k,k}c_1 + \omega_{t_{k,i}}c_2 + \omega_{q_{k,i}}c_3 + \omega_{p_{k,i}}c_4, & x_k = 1 \end{cases} \tag{7}$$

式(7)中,c_n 代表相应因素对节点选取的影响程度。F_k 越大,节点性能越好。

因此,变电站光纤通信中最优节点选取模型可描述为

$$f = \max F_k \tag{8}$$

将性能最高节点看作最优节点,以实现变电站光纤通信。

3 安全性测试

安全性为衡量变电站光纤通信可靠性的关键,为了测试本文设计模型的安全性,将贪婪模型和最短路径模型作为对比进行测试。

在进行第 10 轮实验时,令病毒入侵光纤通信网络,通过本文模型、贪婪模型和最短路径模型选择光纤通信中的最优节点,实现光纤通信网络的自我保护,将病毒入侵下光纤通信网络节点失效数量作为安全性测试指标进行实验,三种模型下节点失效数量比较结果用图 3 进行描述。

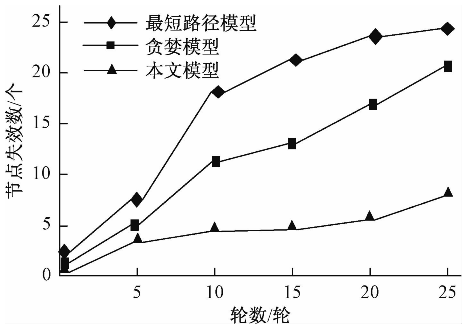

图 3 三种模型节点失效数量比较结果

Fig. 3 Comparison results of the failure rate of the three models

分析图 3 可以看出,在有病毒入侵的情况下,本文模型、贪婪模型和最短路径模型下节点失效数量均呈上升趋势,但本文模型节点失效数量明显低于贪婪模型和最短路径模型,说明本文模型安全性相对较高。

中断概率为变电站光纤通信无差错传输的能力的体现,中断概率越低,则认为选择的最优节点安全性越高,其可通过中断节点数量占总数量的比求出。

为了验证本文模型处理下变电站光纤通信网络传输性能,在信噪比不同的情况,将贪婪模型和最短路径模型作为对比进行测试,三种模型中断概率比较结果用图 4 进行描述。

分析图 4 可以看出,随着信噪比的逐渐增加,本文模型、贪婪模型和最短路径模型的中断概率均逐渐降低,但贪婪模型和最短路径模型的中断概率降低幅度明显低于本文模型,

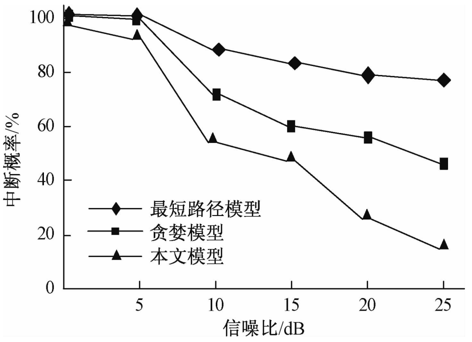

图 4 三种模型中断概率比较结果

Fig. 4 Comparison results of the outage probabilities of the three models

4 性能评估

实验将节点处理能力、通信延迟、信道质量、误码率和吞吐性对本文设计变电站光纤通信中最优节点选取模型性能进行测试。

通信节点的选择要求有很大的 $c(A,n_k)$ 和 $q(n_k,n_i)$,很小的 $t(n_k,n_i)$ 和 $P_e(n_k,n_i)$,$c(A,n_k)$、$q(n_k,n_i)$、$t(n_k,n_i)$ 为抽象的衡量指标,下面给出相应的数学评判标准。

通信节点处理能力可通过下式评价:

$$c_k = \frac{c(A,n_k)}{\max\{c(A,n_i) \mid i = 0,1,\cdots,N\}} \tag{9}$$

式(9)描述的是选取的通信节点 n_k 的处理能力比其它节点在计算能力方面的优越程度,c_k 值越大,则认为通信节点处理能力越强,且 $0 < c_k \leqslant 1$。

通信节点通信延迟可通过下式评价:

$$t_{k,i}^{i} = \frac{t(n_k,n_i)}{\min\{t(n_k,n_i) \mid 1 \leqslant j \leqslant N, j \neq k\}} \tag{10}$$

式(10)描述的是选取的通信节点 n_k 到下一相邻节点间的通信延迟较其他通信节点通信延迟的降低程度,$t_{k,i}^{i}$ 值越高,延迟越大,性能越差,同时 $t_{k,i}^{i} \geqslant 1$。

通信节点信道质量可通过下式进行评价:

$$q_{k,i} = \frac{q(n_k,n_i)}{\max\{q(n_k,n_i) \mid 1 \leqslant j \leqslant N, j \neq k\}} \tag{11}$$

式(11)描述的是选取的通信节点 n_k 到下一相邻节点间的通信信道质量较候选节点的优势程度,其值越大,认为信道质量越佳,且 $0 < q_{k,i} \leqslant 1$。

分别采用本文模型、贪婪模型和最短路径模型对变电站光纤通信中的最优节点进行选取,三种模型选取节点的处理能力、通信延迟和信道质量进行比较,结果分别用图 5、图 6 和图 7 进行描述。

分析图 5 可以看出,本文模型选择节点 c_k 值曲线较为平稳,一直处于 0.95 左右,最低为 0.92。而

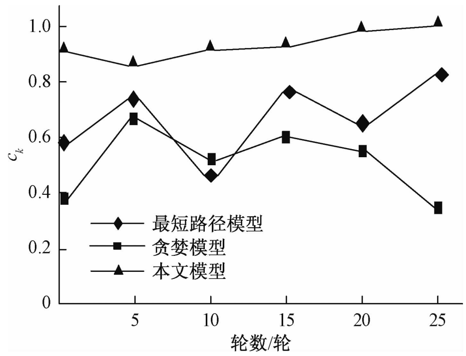

图 5　三种模型选择节点处理能力比较结果

Fig. 5　Comparison results of the node capacity of the three models

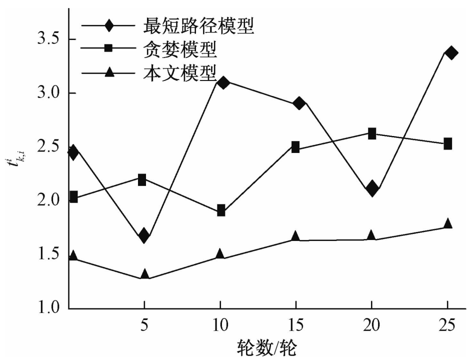

图 6　三种模型选择节点通信延迟比较结果

Fig. 6　Comparison results of the node delay of the three models

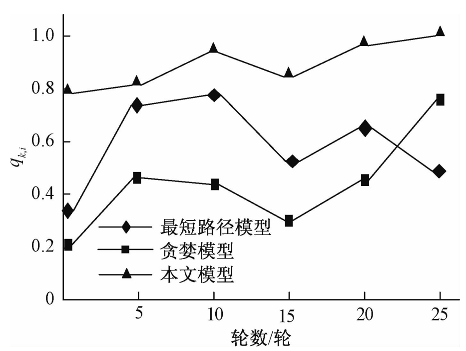

图 7　三种模型选择节点信道质量比较结果

Fig. 7　Comparison results of channel quality of the three models

贪婪模型和最短路径模型选择节点的 c_k 值相对较低,一直低于本文模型,说明本文模型选择节点的处理能力最强。

分析图 6 可以看出,本文模型通信延迟评价指标 $t_{k,i}^{i}$ 最高为 1.67 左右,最低为 1.35 左右,一直处于较低的水平。而贪婪模型通信延迟评价指标 $t_{k,i}^{i}$ 最低为 1.72,比本文模型的最低 $t_{k,i}^{i}$ 值还高,最短路径模型 $t_{k,i}^{i}$ 值波动较大,时高时低,通信时延明显劣于本文模型,说明本文模型在通信时延方面有很高的性能。

分析图 7 可以看出,本文模型选取最优节点的信道质量曲线一直高于贪婪模型和最短路径模型,结果表明本文模型能够保证信道质量,提高变电站光纤通信网络的可靠性。

误码率为衡量选择节点性能的关键指标,对本文模型、贪婪模型和最短路径模型的误码率进行比较,得到的结果用图 8 进行描述。

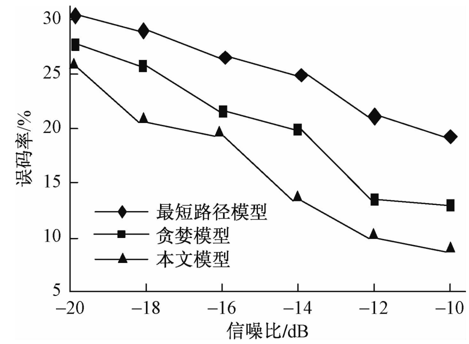

图 8　三种模型误码率比较结果

Fig. 8　Comparison results of the error rate of the three models

分析图中的三条曲线可知,在信噪比要求为 −20 dB的情况下,采用本文模型的误码率较采用贪婪模型和最短路径模型 dB 降低了 2% 和 4% 。且随着要求信噪比的逐渐降低,本文模型的误码率越来越低,比其他两种模型降低幅度更大。说明本文模型更加适于实际应用,同时能够大幅度提高通信性能。

节点吞吐性能也是衡量变电站光纤通信中最优节点选取模型性能的关键,通过本文模型、贪婪模型和路径最短模型对变电站光纤通信中最优节点进行选择,选择节点吞吐性能比较结果用图 9 进行描述。

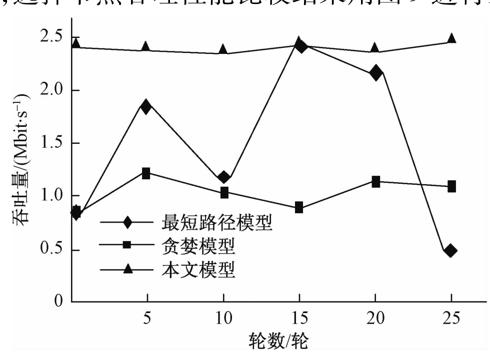

图 9　三种模型下节点吞吐性能比较结果

Fig. 9　Comparison results of node throughput under the three models

分析图 9 可以看出,本文模型选择节点的吞吐量基本处于 2.36 Mbit/s 左右,而贪婪模型的节点吞吐量波动较大,大部分情况处于本文模型之下,最短路径模型吞吐量曲线虽然较为稳定,但一直处于较低的状态,性能不高。

5 结论

本文针对变电站光纤通信设计了一种最优节点选取模型,给出变电站光纤通信系统结构,依据节点功,从四个方面对变电站光纤通信中的节点进行评价,计算四种评价指标的权重,从而实现变电站光纤通信中最优节点选取模型的设计。实验结果表明,所设计模型安全性优,整体性能强。

参 考 文 献

1 步超伦,叶 通,吴 鹏,等. 智能变电站光交换网络的实现. 光通信技术, 2016; 40(1):78—85
Bu Chaolun, Ye Tong, Wu Peng, *et al*. Realization of intelligent substation optical switching network. Optical Communication Technology, 2016; 40(1):78—85

2 任凤琴,陈 丹,田宏梁,等. 宁夏电力变电站语音通信接入方式优化研究. 光通信技术, 2016; 40(2):256—280
Ren Fengqin, Chen Dan, Tian Hongliang, *et al*. Research on the optimization of voice communication access mode in Ningxia electric power substation. Optical Communication Technology, 2016; 40(2):256—280

3 杨 俭,谢欣妍. 基于能耗最低神经网络的光纤通信系统最优传递路径分析. 激光杂志, 2016; 37(6):127—130
Yang Jian, Xie Xinyan. Based on the minimum energy consumption of the neural network optical fiber communication system, the optimal transfer path analysis. Laser Journal, 2016; 37(6):127—130

4 宫玉荣. 强干扰下的无线传感器网络鲁棒性通信节点选择模型. 科技通报, 2016; 32(4):156—159
Gong Yurong. Robust communication node selection model for wireless sensor networks under strong interference. Bulletin of Science and Technology, 2016; 32(4):156—159

5 Hossain M S, Howlader S, Basak R. Investigating the Q-factor and BER of a WDM system in optical fiber communication network by using SOA. Nucleic Acids Research, 2015; 31(6):44—52

6 Zuo D W, Gao Y T, Xue L, *et al*. Rogue waves for the generalized nonlinear Schrödinger-Maxwell-Bloch system in optical-fiber communication. Applied Mathematics Letters, 2015; 40(5):78—83

7 高 磊,刘 玙,袁宇波,等. 基于二维码的智能变电站光缆标签系统设计和实现. 电力自动化设备, 2015; 35(10):169—173
Gao Lei, Liu Yu, Yuan Yubo, *et al*. Design and implementation of optical cable label system based on QR code for smart substation. Electric Power Automation Equipment, 2015; 35(10):169—173

8 刘益青,高厚磊,李乃永,等. 适用于站域后备保护的智能变电站站间信息传输方案. 电力系统保护与控制, 2015; 5(2):96—102
Liu Yiqing, Gao Houlei, Li Naiyong, *et al*. A communication scheme between smart substations for substation-area backup protection. Power System Protection and Control, 2015; 5(2):96—102

9 刘学君,袁碧贤,卓思超,等. 基于 MSP430 的多模光纤短距离数采通信系统. 电子设计工程, 2017; 25(6):96—99
Liu Xuejun, Yuan Bixian, Zhuo Sichao, *et al*. Multimode optical fiber short distance data acquisition communication system based on MSP430. Electronic Design Engineering, 2017; 25(6):96—99

10 Yang W, Wang Y, Wang X, *et al*. Optimal Controlled Nodes Selection for Fast Consensus. Asian Journal of Control, 2016; 18(3):932—944

11 Thomas V A, El-Hajjar M, Hanzo L. Simultaneous optical phase and intensity modulation transmits independent signals in radio over fiber communication. IEEE Communications Letters, 2015; 19(4):557—560

12 于 淼,彭 吉,李佩玥. 基于 Aurora 协议的 VME 光纤通信卡设计与实现. 计算机测量与控制, 2013; 24(8):2262—2264
Yu Miao, Peng Ji, Li Peiyue. Design and implementation of optical fiber communication adapter based on VMEbus and Aurora protocol. Computer Measurement & Control, 2013; 24(8):2262—2264

13 王 昂,李庆磊. 海量信息通信下的网络信道分配模型仿真. 计算机仿真, 2016; 33(7):242—244
Wang Ang, Li Qinglei. Under the huge amounts of information and communication network channel allocation model simulation. Computer Simulation, 2016; 33(7):242—244

14 郝晓弘,周 勃. 基于改进内点法的含双馈型风电场的电力系统无功优化研究. 科学技术与工程, 2016; 16(30):236—242
Hao Xiaohong, Zhou Bo. Reactive power optimization based on modified interior point method for power system with DFIG wind farms. Science Technology and Engineering, 2016; 16(30):236—242

15 Thomas V A, El-Hajjar M, Hanzo L. Simultaneous optical phase and intensity modulation transmits independent signals in radio over fiber communication. IEEE Communications Letters, 2015; 19(4):557—560

16 曹卫东,刘红霞. 基于多层次灰色关联分析的复杂网络节点排序模型. 计算机工程与科学, 2014; 36(6):1165—1171
Cao Weidong, Liu Hongxia. Nodes importance ranking model of complex network based on multi-level gray relational analysis. Computer Engineering and Science, 2014; 36(6):1165—1171

17 Glazov A I, Ivanov V S, Kozachenko M L, *et al*. Metrological assurance of measurements of the average power of optical radiation in fiber-optic communication and information transmission systems. Measurement Techniques, 2015; 58(6):1—6

18 岳亚南,张国良,陈 坚,等. 基于能量均衡的节点最优路由选择策略. 计算机仿真, 2015; 32(7):268—272
Yue Yanan, Zhang Guoliang, Chen Jian, *et al*. Strategy for selecting optimal routing path based on energy balance of node. Computer Simulation, 2015; 32(7):268—272

Design of Optimal Node Selection Model for Substation Fiber Communication

WANG Zhong-dong[1], ZHANG Xiao-wen[2], ZHAO Cheng-qiang[1],
WANG Sheng-gui[1], HU Fang-lin[3], SHANG Jian-guo[1]
(State Grid Gansu Electric Power Company[1], Lanzhou 730000, China; China Energy Construction Group Gansu Electric Power Design Institute Co., Ltd.[2], Lanzhou 730050, China; Gansu Normal University for Nationalities[3], Hezuo 747000, China)

[**Abstract**] Most of the optimal node selection model in traditional fiber communication of substation is based on prior knowledge. It has low performance and is not suitable for practical application. Therefore, a new optimal node selection model for optical fiber communication of substation is designed. In this model, the structure of fiber optic communication system is given, and the signal receiving and signal transmission in communication process are introduced. Then, the communication links of all photoelectric signals´access terminal and the center are planned as communication grid. Based on the node function, from four aspects, nodes in the fiber optic communication are evaluated, which are communication node processing capability, communication delay between adjacent nodes, channel quality and error rate between adjacent communication nodes. Finally, the weights of the four evaluation indexes are calculated, and the optimum node selection model is designed according to the weights. The results of security and performance testing of the design model show that the model is safe and the whole performance is strong.

[**Key words**] substation　optical fiber communication　optimal node　selection